

## ANALISIS DAMPAK PEMASANGAN *DISTIBUTED GENERATION* (DG) TERHADAP PROFIL TEGANGAN DAN RUGI-RUGI DAYA SISTEM DISTRIBUSI STANDAR IEEE 18 BUS

Agus Supardi<sup>\*)</sup>, Romdhon Prabowo

Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta

Jl. A. Yani Pabelan Kartasura Tromol Pos I Surakarta 57102

<sup>\*)</sup> E-mail: agsums@gmail.com

### Abstrak

*Pusat pembangkit listrik berkapasitas besar biasanya terletak jauh dari pusat beban sehingga membutuhkan saluran transmisi yang panjang. Dampaknya adalah susut tegangan dan rugi-rugi dayanya menjadi semakin besar. Distributed generation (DG) dengan kapasitas kecil dan tegangan nominal rendah menjadi salah satu alternatif dalam membangkitkan energi listrik. Pengoperasian DG pada sistem distribusi mengakibatkan aliran daya yang terbalik arahnya sehingga bisa berpengaruh terhadap profil tegangan dan rugi-rugi daya sistem. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh pengoperasian DG terhadap profil tegangan dan rugi-rugi daya sistem. Penelitian diawali dengan memodelkan sistem distribusi standar IEEE 18 bus dan DG ke dalam software ETAP. Setelah modelnya lengkap, dilakukan simulasi aliran daya pada berbagai kondisi. Profil tegangan dan rugi-rugi daya sistem akan diamati dari hasil simulasi ini. DG yang dipakai dalam simulasi ini divariasi lokasi pemasangan. Hasil simulasi menunjukkan bahwa pemasangan DG dapat memperbaiki profil tegangan dan menurunkan rugi-rugi daya sistem.*

**Kata kunci:** *distributed generation* (DG), profil tegangan, rugi-rugi daya

### PENDAHULUAN

Energi listrik merupakan sumber energi utama dunia. Tenaga listrik dibangkitkan di stasiun pembangkit dan disalurkan ke konsumen melalui saluran transmisi dan saluran distribusi. Pertimbangan ekonomi dan masalah lingkungan mengakibatkan fasilitas pembangkitan berkapasitas besar biasanya diletakkan di daerah pinggiran yang jauh dari pusat beban. Dengan demikian diperlukan banyak komponen sistem tenaga untuk menyalurkan energi listrik.

Pembangkit listrik yang beroperasi menggunakan batubara atau nuklir menimbulkan permasalahan polusi terhadap lingkungan. Energi yang tersedia dari matahari, air dan angin merupakan energi yang bersih, tidak mengotori lingkungan, dan gratis. Energi ini dapat diubah menjadi listrik dengan menggunakan sel surya, pembangkit listrik mikrohidro dan turbin angin. Di sisi lain, peningkatan permintaan energi listrik tidak dapat dipenuhi oleh pembangkit berkapasitas besar karena adanya keterbatasan saluran transmisi. Oleh karena itu diperlukan pembangkit yang efisien seperti jenis pembangkit listrik tersebar (*DG, Distributed Generation*). Isu lain yang mendorong pengembangan DG adalah tingginya biaya transmisi dan distribusi (Willis and Scott, 2000). Pembangunan saluran transmisi baru membutuhkan biaya investasi yang besar. Dengan demikian diperlukan suatu pembangkit yang bisa dipasang di dekat beban seperti DG.

DG menggunakan generator berukuran lebih kecil dari stasiun pembangkitan terpusat. DG biasanya mempunyai kapasitas kurang dari 10 MW. DG mendistribusikan tenaga listrik di dekat beban dan dapat diterapkan pada cakupan luas. DG dengan kapasitas daya yang kecil dapat digunakan untuk melayani beban puncak yang hanya terjadi pada jam-jam tertentu tiap harinya (Delfino, 2002). Manfaat DG antara lain :

- Pada pengguna akhir atau pelanggan, umumnya mendapat keuntungan dengan adanya pembangkit cadangan skala kecil yang dapat meningkatkan keandalan penyaluran tenaga listrik.
- Dapat mengatasi pertumbuhan beban yang tidak pasti dan dapat menekan harga listrik melambung tinggi

Dengan adanya DG ini, kondisi sistem tenaga menjadi lebih rumit untuk dipahami. Oleh karena itu, sangat diperlukan untuk mengetahui pengaruh pemasangan DG terhadap perubahan apapun di dalam sistem. Wang dan Nehrir (2003) menyajikan suatu metoda analitis untuk menentukan lokasi optimal dalam menempatkan DG di sistem distribusi radial untuk memperkecil

rugi-rugi daya sistem. Paper ini juga menunjukkan suatu studi simulasi untuk memverifikasi hasil yang diperoleh secara analitis untuk sistem radial dan interkoneksi.

Secara konvensional, dianggap bahwa tenaga listrik pada sistem distribusi selalu mengalir dari gardu induk ke ujung penyulang baik dalam operasi dan perencanaannya. Pengoperasian DG mengakibatkan aliran daya terbalik dan profil tegangan yang kompleks pada sistem distribusi. Dengan adanya pemasangan DG, maka akan terjadi perubahan besar arus pada suatu saluran tertentu sehingga akan berpengaruh terhadap profil tegangan dan rugi-rugi daya saluran. Dalam penelitian ini akan dianalisis dampak pemasangan DG terhadap profil tegangan dan rugi-rugi daya sistem distribusi standar IEEE 18 bus.

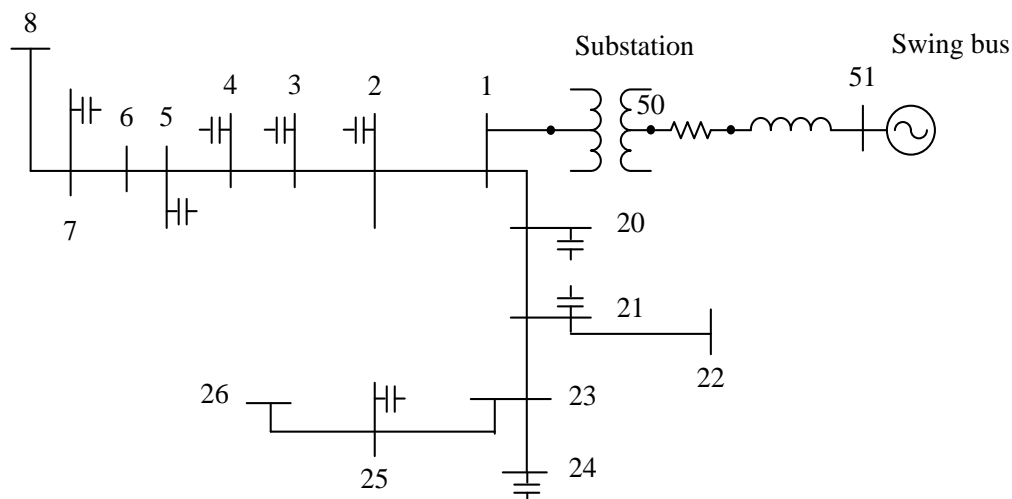
## METODOLOGI

Bahan utama penelitian ini adalah sistem distribusi standard IEEE 18 bus seperti yang digunakan oleh Grady et al (1992) dengan diagram garis tunggal seperti gambar 1.

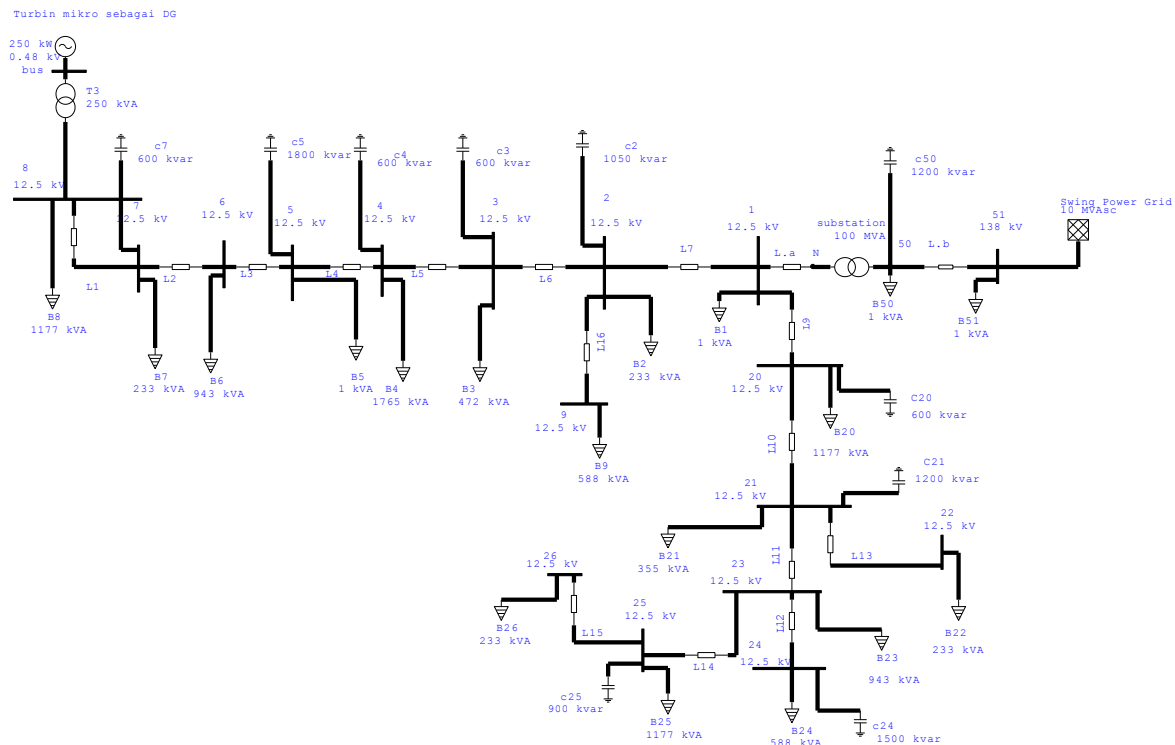
Jalannya penelitian diuraikan sebagai berikut:

1. Penelitian dimulai dengan membuat model sistem distribusi dan DG dengan menggunakan ETAP Power Station dan memasukkan data-data sistem yang diperlukan.
2. Setelah modelnya lengkap dilakukan simulasi aliran daya. Mula-mula dilakukan simulasi aliran daya tanpa adanya DG dalam sistem, setelah itu dilakukan simulasi aliran daya dengan adanya DG. Profil tegangan dan rugi-rugi daya sistem distribusi dapat diketahui dari hasil simulasi.
3. Simulasi dilakukan dengan memvariasi lokasi pemasangan DG.
4. Setiap langkah simulasi diikuti dengan pencatatan profil tegangan dan rugi-rugi daya sistem.

Gambar 1 menunjukkan sistem distribusi standard IEEE 18 bus. 16 bus terletak pada sistem distribusi 12,5 kV dan 2 bus (50 dan 51) terletak pada sisi 138 kV dari trafo gardu induk yang disuplai dari sebuah *swing bus*. Sistem distribusinya bertipe radial dengan 2 penyulang utama. Penyulang pertama terdiri dari 8 bus (bus no.1 – 8) dan penyulang kedua terdiri dari 7 bus (bus no. 20 – 26). Pada sistem distribusi 12,5 kV terpasang kapasitor di 9 busnya. Sistem ini sama dengan yang digunakan oleh Grady et al (1992). DG yang akan dipakai dalam simulasi ini adalah turbin mikro 480 V, 250 kW seperti yang digunakan oleh Kirawanich et al (2004).



**Gambar 1.** Diagram garis tunggal sistem distribusi standard IEEE 18 bus



Gambar 2. Model sistem distribusi standard IEEE 18 bus dalam ETAP

Tabel 1. Data beban

Bus	Beban	
	Aktif ( kW )	Reaktif ( kVAr )
1	1	0
2	200	120
3	400	250
4	1500	930
5	1	0
6	800	500
7	200	120
8	1000	620
9	500	310
20	1000	620
21	300	190
22	200	120
23	800	500
24	500	310
25	1000	620
26	200	120
50	1	0
51	1	0

Tabel 2. Impedansi saluran distribusi

Dari Bus	Ke Bus	Resistansi ( Ohm )	Reaktansi ( Ohm )
1	2	0,0673	0,1881
2	3	0,0939	0,2620
3	4	0,0494	0,1378
4	5	0,1400	0,3909
5	6	0,0461	0,1288
6	7	0,2688	0,3313
7	8	0,6359	0,4770
2	9	0,2666	0,3452
20	21	0,3472	0,4495
21	22	0,7505	0,9716
21	23	0,6227	0,8063
23	24	0,4547	0,5888
23	25	0,5823	0,7177
25	26	0,3450	0,4250
50	1	0,0488	1,0552
50	51	0,0078	0,0538

Tabel 3. Data Kapasitor yang terpasang

Nama	Bus	Daya Reaktif ( kVAr )
C1	2	1050
C2	3	600
C3	4	600
C4	5	1800
C5	7	600
C6	20	600
C7	21	1200
C8	24	1500
C9	25	900
C10	50	1200

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Program analisis aliran daya dalam ETAP Power Station akan menghitung besarnya tegangan bus, faktor daya pada percabangan rangkaian, arus, dan aliran daya pada keseluruhan sistem tenaga listrik. Programnya memberikan pilihan sumber tenaga berjenis *swing*, *voltage regulated*, dan *unregulated*. Jenis sistem yang bisa ditangani meliputi sistem radial dan sistem loop. Berbagai metode analisis aliran daya disediakan untuk menghasilkan perhitungan yang paling

efisien seperti Newton-Raphson, fast decoupled, accelerated Gauss – Seidel, apply XFMR phase-shift.

Hasil simulasi profil tegangan sistem distribusi sebelum dan setelah pemasangan DG pada suatu bus ditunjukkan pada tabel 4. Hasil simulasi rugi-rugi dayanya ditunjukkan pada tabel 5.

**Tabel 4.** Profil tegangan sistem distribusi  
Tegangan sistem distribusi (Volt)

Bus	Sebelum DG terhubung	Setelah 1 buah DG terhubung dengan bus								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	12485	12504	12505	12506	12507	12508	12508	12508	12509	12506
2	12476	12496	12499	12500	12500	12501	12501	12502	12502	12499
3	12458	12477	12480	12483	12483	12484	12484	12485	12485	12480
4	12446	12466	12468	12471	12472	12473	12474	12474	12475	12468
5	12459	12479	12481	12484	12485	12489	12489	12490	12490	12481
6	12445	12465	12467	12470	12471	12475	12476	12476	12477	12467
7	12415	12435	12437	12440	12441	12445	12446	12452	12452	12437
8	12339	12360	12362	12365	12366	12370	12371	12377	12390	12362
9	12457	12477	12479	12480	12481	12482	12482	12482	12483	12484
20	12485	12504	12505	12506	12507	12508	12508	12508	12509	12506
21	12459	12479	12480	12481	12481	12482	12482	12483	12483	12480
22	12438	12457	12459	12460	12460	12461	12461	12462	12462	12459
23	12384	12404	12405	12406	12407	12408	12408	12408	12409	12405
24	12421	12441	12443	12444	12444	12445	12445	12446	12446	12443
25	12335	12356	12357	12358	12359	12359	12360	12360	12360	12357
26	12326	12346	12347	12348	12349	12350	12350	12350	12351	12347
Rerata perbaikan tegangan (volt)		19,87	21,62	23,37	24,06	25,75	26,06	27,12	28,44	22,06

**Tabel 4** (lanjutan)

Bus	Sebelum DG terhubung	Setelah 1 buah DG terhubung dengan bus							
		20	21	22	23	24	25	26	
1	12485	12505	12507	12507	12509	12510	12510	12510	
2	12476	12496	12499	12499	12501	12502	12502	12502	
3	12458	12478	12480	12480	12483	12484	12484	12484	
4	12446	12466	12468	12468	12471	12472	12472	12472	
5	12459	12479	12481	12481	12484	12485	12485	12485	
6	12445	12465	12467	12467	12470	12471	12471	12471	
7	12415	12435	12437	12437	12440	12441	12441	12441	
8	12339	12360	12362	12362	12365	12366	12366	12366	
9	12457	12477	12479	12479	12482	12483	12483	12483	
20	12485	12505	12507	12507	12509	12510	12510	12510	
21	12459	12479	12488	12488	12491	12492	12492	12492	
22	12438	12458	12467	12481	12470	12471	12471	12471	
23	12384	12404	12413	12413	12429	12430	12431	12431	
24	12421	12442	12451	12451	12466	12476	12468	12468	
25	12335	12356	12365	12365	12381	12382	12394	12394	
26	12326	12347	12356	12356	12371	12372	12384	12391	
Rerata perbaikan tegangan (volt)		20,25	24,94	25,82	30,88	32,44	33,5	33,94	

**Tabel 5.** Rugi-rugi daya sistem saat 1 buah DG terhubung pada berbagai bus

Saluran	Sebelum DG Terhubung	Rugi-rugi daya aktif sistem distribusi (kW)															
		Setelah 1 buah DG terhubung dengan bus															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	20	21	22	23	24	25	26
1-2	9,8	9,8	8,8	8,8	8,8	8,8	8,8	8,8	8,8	8,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,7	9,7
50-1	25,8	24,5	24,5	24,5	24,5	24,5	24,5	24,5	24,5	24,5	24,5	24,5	24,5	24,5	24,5	24,5	24,5
2-3	9,4	9,4	9,4	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,2	9,4	9,4	9,4	9,4	9,4	9,4	9,4	9,4
2-9	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,3	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
3-4	3,9	3,9	3,9	3,9	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9
4-5	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	3,9	3,9	3,9	3,9	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8
5-6	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,0	1,0	1,0	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
6-7	2,6	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	1,6	1,6	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
7-8	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7	4,0	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7
20-21	26,6	26,6	26,6	26,6	26,6	26,6	26,6	26,6	26,6	26,6	26,6	23,3	23,3	23,3	23,3	23,3	23,3
21-22	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,1	0,3	0,3	0,3	0,3
21-23	28,0	28,0	28,0	28,0	28,0	28,0	28,0	28,0	28,0	28,0	28,0	28,0	28,0	23,1	23,1	23,1	23,1
23-24	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,2	4,8	4,8
23-25	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	3,5	3,5
25-26	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0	0,0
<b>Total</b>	<b>129,2</b>	<b>127,8</b>	<b>126,8</b>	<b>125,7</b>	<b>125,2</b>	<b>124,3</b>	<b>124</b>	<b>123,1</b>	<b>121,3</b>	<b>126,5</b>	<b>127,8</b>	<b>124,5</b>	<b>124,3</b>	<b>119,6</b>	<b>119</b>	<b>117,4</b>	<b>117,4</b>

Tegangan nominal sistem distribusi standar IEEE 18 bus adalah sebesar 12,5 kV. Berdasarkan tabel 4, profil tegangan sistem distribusi akan menjadi lebih kecil dari tegangan nominalnya ketika sistem distribusi mulai menyalurkan energi listrik ke beban. Pada saat belum terpasang DG, besarnya tegangan pada bus 1 (bus yang terletak paling dekat dengan sumber) sebesar 12485 volt, sedangkan tegangan pada bus 26 (bus yang terletak paling jauh dari sumber) sebesar 12326 volt. Kondisi ini menunjukkan adanya susut tegangan. Tabel 4 menunjukkan bahwa semakin jauh dari sumber maka tegangannya akan semakin kecil. Hal ini sesuai dengan Hukum Ohm yang menyatakan besarnya tegangan berbanding lurus dengan arus dan impedansi saluran. Semakin panjang saluran, maka impedansinya akan semakin besar sehingga susut tegangannya akan semakin besar. Dampaknya profil tegangan pada bus yang terjauh akan menjadi paling rendah bila dibandingkan dengan tegangan pada bus yang lainnya.

Profil tegangan sistem distribusi akan naik ketika suatu DG dihubungkan pada suatu bus seperti yang ditunjukkan pada tabel 4. Pada penyulang 1 yang menyuplai beban dari bus 1 – bus 9, terlihat bahwa kenaikan tegangan yang paling kecil (= 19,87 volt) terjadi ketika DG dihubungkan pada bus 1 dan kenaikan tegangan yang paling besar (= 28,44 volt) terjadi ketika DG dihubungkan pada bus 8. Pada penyulang 2 yang menyuplai beban dari bus 20 – bus 26, terlihat bahwa kenaikan tegangan yang paling kecil (= 20,25 volt) terjadi ketika DG dihubungkan pada bus 20 dan kenaikan tegangan yang paling besar (= 33,94 volt) terjadi ketika DG dihubungkan pada bus 26. Hal ini disebabkan adanya perubahan arus yang mengalir ketika DG dihubungkan pada sistem distribusi. Sebelum terpasang DG, arus mengalir dari *power grid* menuju ke bus tersebut. Sesudah terpasang DG, arus akan mengalir dari bus tersebut ke bus yang lainnya. Besarnya arus yang mengalir ditentukan oleh kapasitas DG dan besarnya beban yang terhubung. Pemilihan lokasi pemasangan DG yang tepat akan menyebabkan arus yang mengalir pada suatu saluran akan berkurang secara signifikan sehingga akan memperkecil susut tegangannya. Berdasarkan tabel 4, lokasi pemasangan DG yang tepat pada penyulang 1 adalah pada bus 8, sedangkan pada penyulang 2 adalah pada bus 26.

Rugi-rugi daya pada sebuah saluran juga dipengaruhi oleh besarnya arus dan impedansi saluran sesuai dengan rumusan  $P = I^2R$ . Sebuah saluran dalam sistem distribusi mempunyai impedansi yang konstan. Oleh karena itu, rugi-rugi dayanya lebih dipengaruhi oleh besarnya arus yang mengalir. Variasi lokasi pemasangan DG akan menghasilkan perubahan arah dan magnitude arus pada sistem, sehingga akan berpengaruh terhadap rugi-rugi dayanya. Pemasangan DG pada lokasi yang tepat akan menghasilkan rugi-rugi yang paling kecil. Tabel 5 menunjukkan bahwa rugi-rugi daya total sistem sebelum pemasangan DG adalah sebesar 129,2 kW. Rugi-rugi daya total sistem berkurang ketika sebuah DG dihubungkan pada suatu bus tertentu. Besarnya penurunan

---

rugi-rugi daya berkisar antar 1,4 - 11,8 kW. Pemasangan DG di bus 25 atau bus 26 menghasilkan rugi-rugi daya total yang paling kecil (= 117,4 kW). Hal ini berarti bahwa bus 25 atau bus 26 merupakan lokasi pemasangan DG yang paling optimal ditinjau dari kriteria rugi-rugi daya sistem.

## KESIMPULAN

Berdasarkan pembahasan sebelumnya dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Pemasangan 1 buah DG berkapasitas 250 kW dapat memperbaiki profil tegangan sistem distribusi. Nilai kenaikan tegangannya diantara 19,87 - 33,94 volt. Kenaikan tegangan terkecil terjadi ketika DG dipasang di bus 1 dan kenaikan tegangan terbesar terjadi ketika DG dipasang di bus 26.
2. Pemasangan 1 buah DG berkapasitas 250 kW pada bus 25 atau bus 26 akan menghasilkan rugi-rugi daya sistem yang paling kecil yaitu sebesar 117,4 kW.

## DAFTAR PUSTAKA

- Delfino, B., 2002, Modeling of the integration of distributed generation into the electrical system, *Proceedings of the 2002 IEEE Power Engineering Society Summer Meeting*, Volume 1, Pages: 170 – 175
- Grady, W.M., Samotyj, M.J., and Noyola, A.H, 1992, The application of network objective functions for minimizing the impact of voltage harmonics in power systems, in *IEEE Trans. on Power Delivery*, vol.7. no.3, pp. 1379 - 1385
- Kirawanich, P., O'Connell, R.M., and Brownfield, G., 2004, Microturbine harmonic impact study using ATP-EMTP, in *2004 11<sup>th</sup> International Conf. on Harmonics and Quality of Power*, pp. 117 - 122
- Wang C. and Nehir, M. H , 2003, Analytical approaches for optimal placement of distributed generation sources in distribution system, *IEEE Transaction on Power Systems*, in press
- Willis, H. L. and Scott, W. G., 2000, *Distributed Power Generation Planning and Evaluation*, Marcel Dekker, Inc.